

## ENERGIA GEOTÉRMICA: UMA ALIADA NA BUSCA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.

Agleison Ramos Omido (\*), Christian Souza Barboza, Orlando Moreira Júnior

\* Universidade Federal da Grande Dourados (agleisonomido@ufgd.edu.br)

### RESUMO

A constante evolução tecnológica impacta a sociedade disponibilizando desde eletrodomésticos e aparelhos funcionais utilizados em ambientes residenciais e comerciais, a equipamentos sofisticados instalados em grandes empresas, demandando elevado consumo de energia elétrica e, conseqüentemente, necessidade de aumento na capacidade de geração. No Brasil, no período de 1995 à 2005 o consumo de energia elétrica passou por um aumento de 30,77%, enquanto que, de 2005 a 2015, esse aumento saltou para 57,50%, confirmando essa tendência crescente de consumo. A utilização de fontes não renováveis para suprir essa necessidade traz grandes preocupações, uma vez que contribuem para emissão de gases prejudiciais ao meio ambiente, além da previsível escassez em um futuro próximo. Este trabalho surge da convicção de que a Energia Geotérmica, pode ajudar a reduzir a exploração de fontes não renováveis (petróleo e seus derivados, gás natural, carvão mineral, urânio, etc.) nos diversos setores da economia, tais como industrial, comercial, agronegócios e, em particular, no ambiente residencial. A busca pela Eficiência Energética das edificações precisa considerar a utilização de fontes alternativas e, neste cenário, a Energia Geotérmica apresenta-se como uma opção promissora. Neste projeto é realizado um estudo de como a Energia Geotérmica superficial (temperaturas menores que 30 °C) pode auxiliar na climatização de edifícios, visando reduzir o consumo de energia elétrica provocado pelos atuais sistemas de aquecimento e arrefecimento, responsáveis por 25% do consumo de energia em edifícios residenciais. O intuito não é substituir os sistemas atuais e, sim, apresentar um sistema híbrido para reduzir o consumo dos existentes, proporcionando conforto térmico e mantendo a qualidade do ambiente para aqueles que o ocupam. A utilização de fontes renováveis para melhor balancear a geração e consumo de energia elétrica é primordial, visto que, além de reduzir a emissão de poluentes na atmosfera, desacelera o consumo e adia a extinção das reservas não renováveis. Neste projeto, pretendemos avaliar o potencial de uso da Energia Geotérmica superficial na cidade de Dourados-MS. Em uma primeira etapa, sensores para as medições da temperatura abaixo da superfície serão instalados na Unidade II da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD). Para tanto, o protótipo de um sistema de aquisição de temperatura está sendo desenvolvido utilizando a plataforma de programação arduino. Após o mapeamento das temperaturas do subsolo, os resultados alimentarão o desenvolvimento de futuros trabalho para a utilização da Energia Geotérmica superficial em nossa região.

**PALAVRAS-CHAVE:** Energia Geotérmica superficial, Eficiência Energética, Fonte renovável de energia.

## INTRODUÇÃO

O aumento populacional, acompanhado da intensificação do uso de equipamentos individuais e coletivos movidos a energia elétrica cuja produção, segundo matrizes energéticas divulgadas de vários países, é baseada em fontes não renováveis (1), principalmente os combustíveis fósseis, leva a humanidade a questionar: Até quando? Isto é, durante quanto tempo ainda poderemos usufruir destes benefícios até que se esgotem as fontes de todo esse sistema?

A preocupação com a escassez de fontes de energia, além da constatação de que a emissão dos gases gerados no processo são prejudiciais ao meio ambiente (2), acelerou os estudos em busca de fontes de energia denominadas “renováveis ou limpas”.

A produção de energia através da queima do carvão, gás natural e petróleo, além de prejudicar o meio ambiente com a emissão de dióxido de carbono, tem prazo determinado para se esgotar. Soluções como a energia solar fotovoltaica, a energia eólica, a biomassa, entre outras, apresentam as perspectivas de que a utilização da eletricidade não será interrompida, além de projetar, também, uma redução à agressão ao meio ambiente.

A busca de respostas para a questão não pode se resumir apenas no processo de produção de energia. A outra extremidade da cadeia, o consumo, também deve ser incluída como uma das incógnitas que fazem parte da solução para a obtenção de um sistema equilibrado. Produzir e consumir com qualidade é a meta.

Neste cenário, indagamos, por que pensar em Eficiência Energética em áreas como a construção civil predial? A partir da definição de Eficiência Energética na arquitetura: “um atributo inerente à edificação representante de seu potencial em possibilitar conforto térmico, visual e acústico aos usuários com baixo consumo de energia” (3), conclui-se que é necessário incorporar às edificações sistemas capazes de reduzir o consumo de energia elétrica sem a redução na qualidade de vida de seus ocupantes.

## GEOTERMIA SUPERFICIAL

Segundo a European Geothermal Energy Council (EGEC), Energia Geotérmica é “a energia armazenada na forma de calor de baixo da superfície da terra” (4). Essa energia tem origem no fluxo geotérmico profundo, radiação solar absorvida, fluxo de águas subterrâneas e energia térmica armazenada no terreno.

A Energia Geotérmica pode ser classificada em três categorias, dependendo da temperatura com que é extraída, ou seja, de acordo com sua entalpia. O termo pode ser entendido resumidamente “como a quantidade de energia térmica que um fluido, ou objeto, pode permutar com a sua envolvente, expressa-se por kJ/kg ou kcal/kg” (5). Essas categorias, que dependendo do autor considerado, podem apresentar pequenas variações são:

I – Alta entalpia ( $T > 150\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Utilizada na produção de energia elétrica, e refrigeração por absorção com amoníaco.

II - Média entalpia ( $90\text{ }^{\circ}\text{C} < T < 150\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Utilizada em indústrias para secagem de produtos, refrigeração, lavagem, degelo, destilação, etc.

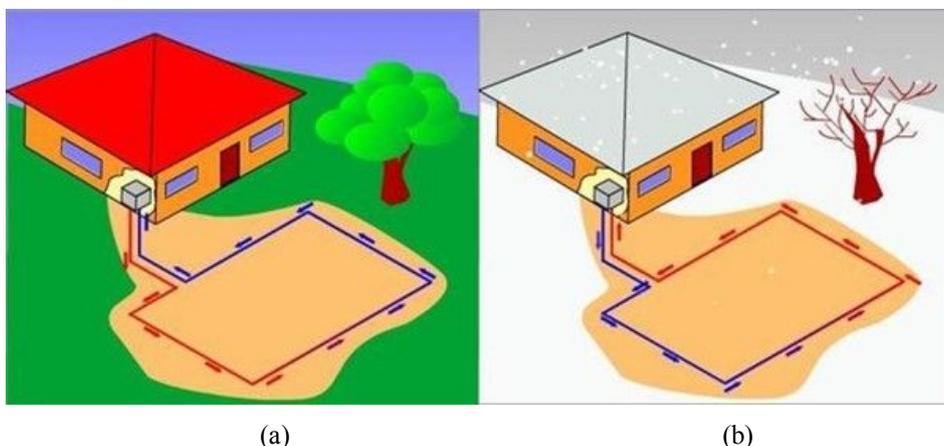
III - Baixa entalpia ( $30\text{ }^{\circ}\text{C} < T < 90\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Utilizada na agricultura e alimentação, lazer e saúde para aquecimento de estufas, piscicultura, aquicultura, cultivo de cogumelos, centros de lazer, terapêutica termal, etc.

IV - Muito baixa entalpia ( $T < 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Utilizada e habitações para aquecimento com bombas de calor e climatização.

Neste trabalho mostramos como a Energia Geotérmica de muito baixa entalpia pode ser aproveitada na climatização de edifícios com a utilização de bombas de calor geotérmicas, com a finalidade de reduzir o consumo de energia elétrica dos sistemas de aquecimento e arrefecimento, que são responsáveis por 25% do consumo em edifícios residenciais (6). Segundo Cardoso (7), é possível conseguir reduções de 25% a 75% no consumo de energia de aquecimento e arrefecimento de edificações com a aplicação desse sistema.

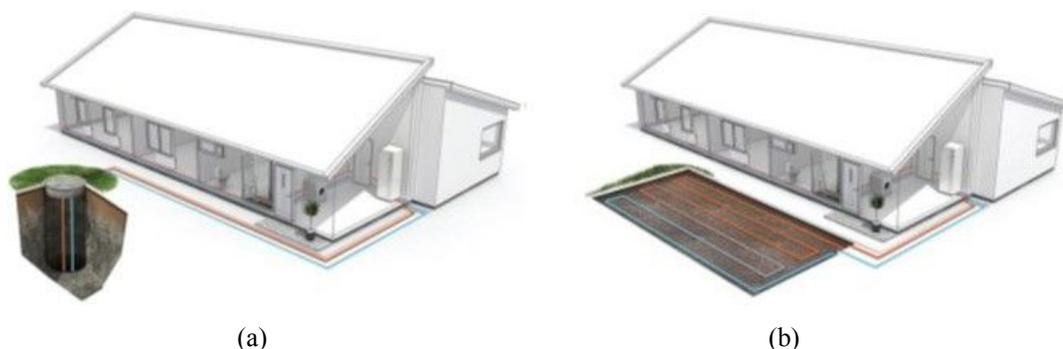
A bomba de calor é um dispositivo termodinâmico com dois elementos básicos: uma válvula de expansão e um compressor. Completam o sistema dois circuitos de tubos; o circuito primário, instalado no subsolo e o circuito secundário, no interior do edifício. Um fluido refrigerante (normalmente água) percorre os dois circuitos realizando trocas de calor ora com o solo, ora com o edifício.

Estudos demonstraram que a temperatura do solo, a poucos metros de profundidade, é bastante estável e próxima à média anual da região (8). Logo, no verão, ele encontra-se com valores de temperatura abaixo da temperatura da superfície e, no inverno, apresenta valores superiores a ela. No verão, o fluido refrigerante retira energia no interior do edifício transferindo-a ao solo enquanto que no inverno o processo é inverso. A figura 1 mostra o fluxo de calor nessas diferentes estações do ano.



**Figura 1: Fluxo de calor no sistema de bomba de calor geotérmico: (a) No verão e (b) no inverno.**  
Fonte: (9)

Nos sistemas energéticos de muito baixa entalpia a captação de energia pode ser feita em diferentes configurações. A opção por um ou outro modo de captação depende das características do terreno, área disponível e resultados pretendidos. A figura 2 mostra os dois modos de captação em sistema fechado.



**Figura 2: Modos de captação da Energia Geotérmica: (a) Captação vertical e (b) Captação horizontal.**  
Fonte: (10)

Segundo o Manual Prático PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (6), os sistemas de aquecimento e arrefecimento de uma edificação são responsáveis por grande parcela do consumo de energia elétrica da mesma.

No Brasil, existe uma política de busca de equipamentos mais eficientes com finalidade de reduzir o consumo, o que se acentuou após a implantação pela Petrobrás em parceria com o INMETRO, da Etiqueta de cores do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), que classifica o nível de consumo elétrico dos aparelhos através de um conjunto de letras de A até E (sendo A os mais eficiente e E, os que consomem mais energia). Baseada no mesmo conceito, já está sendo implantada a Etiqueta para Consumo dos Edifícios baseado em cálculos de aspecto de envoltória do edifício, do sistema de iluminação e do sistema de climatização (3).

Se, associado à melhor qualidade dos aparelhos, a sua instalação for realizada em ambientes favoráveis ao seu desempenho, poderemos atingir um nível de rendimento ainda mais satisfatório. Nesse sentido, voltamos a nos referir ao conceito de Eficiência Energética, uma vez que nesse conceito, toda a estrutura da edificação deve ser utilizada de modo a reduzir o consumo sem perda de qualidade.

Na climatização de um ambiente com um equipamento funcionando com controle de temperatura tipo ON/OFF, se a temperatura difere de um certo ponto, o controlador aciona o aparelho, fazendo com que a temperatura volte ao estado para a qual foi programada. A figura 3 mostra o funcionamento desse tipo de controle.

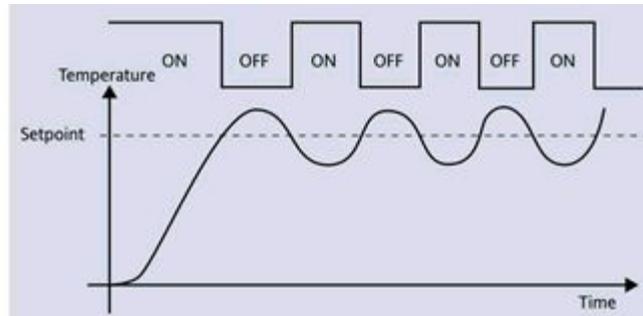


Figura 3: Controle de temperatura ON/OFF. Fonte: (11).

Como o consumo de energia elétrica é diretamente proporcional ao tempo que o aparelho permanece em funcionamento, a redução do ciclo ON implica em uma redução no consumo. No estágio inicial de funcionamento o aparelho parte da temperatura ambiente e, ao atingir a temperatura programada, entra em modo OFF. Então, quanto mais próxima a temperatura ambiente estiver da programada, menor é o tempo de funcionamento do aparelho. Novo ciclo ON se inicia após o ambiente refrigerado trocar calor com o meio que o circunda.

Essa troca de calor, segundo conceitos da termodinâmica, pode ser realizada através de três processos: condução, convecção e radiação. A tabela 1 mostra como se determina o fluxo de calor e as variáveis físicas envolvidas em cada processo (6).

Tabela 1: Mecanismos de transmissão de calor e sua determinação (adaptada de (6)).

Mecanismos de transmissão de calor	Cálculo do fluxo Térmico	Variáveis
Radiação	$\varphi = A\varepsilon\sigma(T_2 - T_1)^4$	$\varphi$ : Fluxo térmico em kcal/h $A$ : Área da superfície radiante em $m^2$ $\varepsilon$ : Emissividade do corpo $\sigma$ : Constante de Boltzman (5,669 W/m <sup>2</sup> K) $T_2, T_1$ : Temperatura das fontes quente e fria, em K
Convecção	$\varphi = Ah(T_2 - T_1)$	$\varphi$ : Fluxo térmico em kcal/h $A$ : Área da superfície radiante em $m^2$ $h$ : Coeficiente de troca de calor por convecção em kcal/hm <sup>2</sup> K $T_2, T_1$ : Temperatura das fontes quente e fria, em K
Condução	$\varphi = AU(T_2 - T_1)$	$\varphi$ : Fluxo térmico em kcal/h $A$ : Área da superfície radiante em $m^2$ $U$ : Coeficiente global de transmissão de calor em kcal/hm <sup>2</sup> K $T_2, T_1$ : Temperatura das fontes quente e fria, em K

A análise das equações apresentadas pela tabela 1 mostra uma dependência direta entre todas as formas de transferência de calor com a diferença entre as temperaturas das fontes quente e fria, que, em nosso estudo, significam temperatura do ambiente a climatizar e temperatura externa da construção. É nesse ponto que verificamos a importância do sistema de arrefecimento e aquecimento com a utilização da Energia Geotérmica através de bombas de calor.

Seu funcionamento altera a temperatura do ambiente em relação à externa, reduzindo a amplitude entre elas, provocando uma troca de calor mais lenta, levando os aparelhos de climatização a operarem por menos tempo, diminuindo o consumo de energia, além de preparar o ambiente para o ciclo inicial do aparelho, quando o tempo necessário para atingir a temperatura programada é, normalmente, mais longo.

## OBJETIVOS

O presente trabalho surge da preocupação em relação à grande dependência da energia produzida por fontes não renováveis e pretende evidenciar o potencial da utilização da Energia Geotérmica superficial na busca da Eficiência Energética de uma edificação. A finalidade não é substituir os atuais sistemas de geração, mas sim, através de um sistema híbrido, reduzir o consumo da energia elétrica proveniente dos sistemas em funcionamento.

Nele procuramos demonstrar, em duas etapas, como a Energia Geotérmica superficial pode auxiliar o processo de redução do consumo de energia, com o intuito de divulgar essa fonte disponível, mas relegada a segundo plano em nosso país. Inicialmente, o objetivo é a construção de uma sistema composto de Hardware + Software que seja capaz de compilar dados de temperatura e umidade de maneira remota. Esses dados são importantes para a verificação da viabilidade técnica de sistemas de climatização utilizando as fontes geotérmicas. E está em construção um protótipo para levantamento de dados do perfil de temperatura do subsolo da cidade de Dourados de forma a comparar os resultados obtidos com o descrito na literatura. Na sequência, estudos para implantação de sistemas de climatização auxiliados por Energia Geotérmica serão desenvolvidos.

## METODOLOGIA

Para a montagem do sistema de detecção de temperaturas foi utilizada a plataforma de prototipagem eletrônica Arduino (Figura 4), sendo que o Arduino é uma placa composta por um micro controlador, circuitos de entrada e saída, e que pode ser conectada a um computador e programada via IDE (*Integrated Development Environment*), um ambiente de desenvolvimento integrado, utilizando uma linguagem baseada em C/C++.

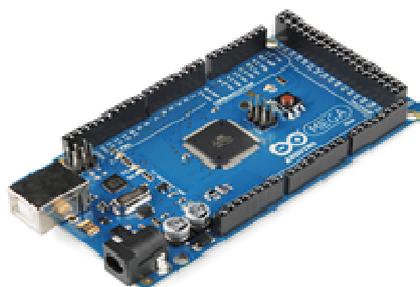


Figura 4 – Arduino Mega. Fonte: (12)

No presente trabalho está sendo utilizado o Arduino Mega 2560 R3 já que se faz necessário um grande número de entradas e saídas. Como sensores, estão sendo utilizados o sensor de umidade e temperatura AM2302 DHT22 para realizar a leitura desses valores no ambiente que se deseja climatizar; e o sensor de temperatura DS18B20 que é um sensor de temperatura digital de 12 bits a prova d'água para ler a temperatura do subsolo em diferentes profundidades. Essas leituras serão realizadas por um período mínimo de um ano e posteriormente receberão tratamento estatístico. A figura 5 mostra os dois sensores citados.

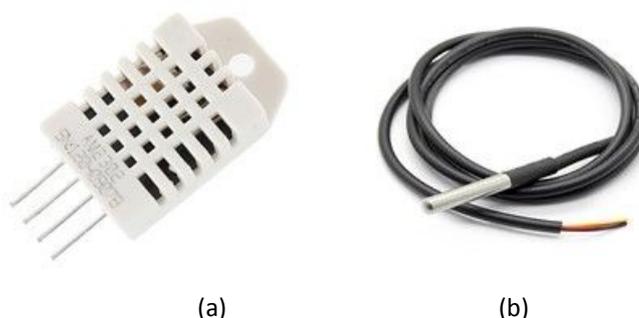


Figura 5 – (a) Sensor AM2302 DHT22. Fonte: (13). (b) Sensor DS18B20. Fonte: (14)

Os dados recebidos pelos sensores serão armazenados em um cartão Micro SD instalado no módulo *SD card* ligado ao arduino e que posteriormente será substituído por um sistema de armazenamento utilizando o módulo WiFi ESP8266 com alocação dos dados em rede.

Para acompanhamento em tempo real das leituras pretendemos também instalar um ou mais módulos display LCD 16x2 com adaptador I2C. O protótipo está sendo testado em uma protoboard 830 furos com utilização de jumpers, resistores e capacitores quando necessários como apresentado na figura 6.

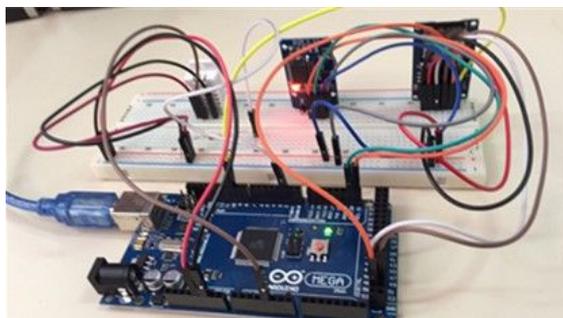


Figura 6 – Montagem e teste do protótipo. Fonte: Própria.

A figura 7 apresenta uma disposição dos elementos de aquisição, armazenamento e tratamento dos dados de temperatura do subsolo e temperatura e umidade ambientes.

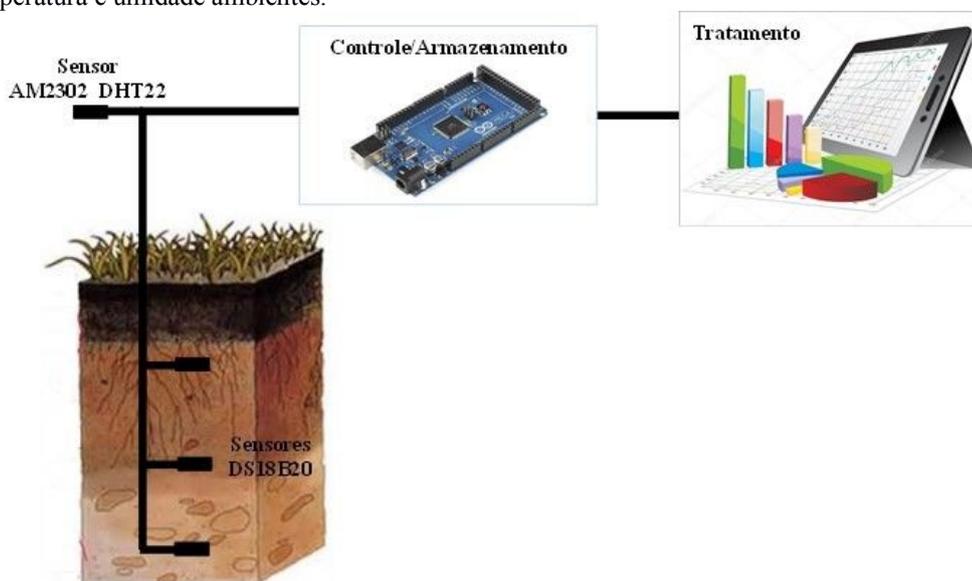


Figura 7 – Setup do projeto. Fonte: Própria.

## RESULTADOS ESPERADOS

Espera-se com este projeto o desenvolvimento de um protótipo robusto e de baixo custo para ser utilizado em trabalhos que necessitem dessa rotina de aquisição, transferência, armazenamento e tratamento de dados de temperatura.

Um sistema similar ao que estamos desenvolvendo pode ser obtido da empresa Full Gauge Controls. Trata-se do termômetro digital TI-44E plus que, com algumas adaptações, poderia executar essa tarefa. Entretanto, nosso protótipo apresenta um custo de cerca de 50% do valor comercial do produto citado.

Após o mapeamento das temperaturas do subsolo na cidade de Dourados, MS, sistemas de trocas de calor com a utilização de Energia Geotérmica superficial serão implantados em diferentes configurações. A intenção é otimizar o processo para as condições climáticas de nossa região e, assim, divulgar a técnica.

## CONCLUSÕES

Talvez pela riqueza de recursos naturais do Brasil, tais como os hídricos que proporcionam a instalação de hidrelétricas, vento e sol o ano inteiro em várias regiões, o que contribui para a instalação de usinas eólicas e fotovoltaicas, investimento nas usinas nucleares Angra I, II e III e a grande disponibilidade de biomassa, a Energia Geotérmica tenha sido relegada a segundo plano.

Entretanto, a demanda de energia é crescente e nenhuma ação pode ser descartada. A Energia Geotérmica está disponível e deve ser utilizada, e é com este objetivo que esse trabalho foi idealizado.

Pesquisas precisam ser desenvolvidas em várias regiões do país visando estudos para a utilização da Energia Geotérmica superficial com intuito de contribuir para a difusão da técnica e avançar na busca da Eficiência Energética.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Ministério das Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética – EPE. **Balço Energético Nacional – BEN edição 2016. Relatório síntese – ano base 2015.** Disponível em <<http://www.epe.gov.br/Estudos/Paginas/Balan%C3%A7o%20Energ%C3%A9tico%20Nacional%E2%80%93%20BEN/EPEdisponibilizaRelat%C3%B3rioS%C3%ADntesedoBalan%C3%A7oEnerg%C3%A9ticoNacional%E2%80%93BEN2016.aspx?CategoriaID=347>>. Acesso em 29/06/2017.
2. Global Status Report. **REN21 Renewable Energy Policy Network for the 21 st Century.** Paris, (2013). Disponível em: <http://www.ren21.net/>. Acesso em 10/04/2017.
3. Lamberts, R.; Dutra, L.; Pereira, Fernando O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura.** 2ed. São Paulo: PW editores, 2004. v. 1. 188
4. Law, Ryan. **Geothermal Systems in the Chalk of the South East of England: Methods of Predicting Thermal Transport in a Fractured Aquifer.** University of Birmingham. 2009.
5. Trillo L. and Angulo V. R., **Guía de la Energía Geotérmica.** Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid. 2008.
6. Ministério das Minas e Energia. **Manual Prático PROCEL EPP Eficiência Energética em Prédios Públicos.** Sistemas de ar condicionado. Agosto 2011.
7. Cardoso, F.; **Geotermia - Do interior da terra para os nossos edifícios.** Edifícios e Energia. Printer Portuguesa S.A.; novembro/dezembro 2013
8. Vieira, A., e Maranha, J. (2009). **Estudo de Modelação Numérica do Comportamento de Estruturas Termoactivas.** In: Actas do 12º Congresso Nacional de Geotecnia, Lisboa.
9. Arunclima. **Energias Renováveis.** Disponível em <http://www.arunclima.pt>. Acesso em 30/06/2017.
10. Nibe Energy Systems. (2009). **A new generation of heat pumps** (pp. 6–7). Disponível em: <http://www.soloheatinginstallations.co.uk/brochures/>. Acesso em 12/06/2017.
11. Citisystems, **Como funciona o controle de temperatura?** Disponível em: <https://www.citisystems.com.br/controle-de-temperatura/> Acesso em 12/06/2017.
12. Filipeflop Componentes Eletrônicos, 2017, Florianópolis-SC, **Placa MEGA 2560 R3 com Cabo USB para Arduino.** Disponível em < <http://www.filipeflop.com/produto/placa-mega-2560-r3-cabo-usb-para-arduino/>>. Acesso em 22/08/2017.
13. Filipeflop Componentes Eletrônicos, 2017, Florianópolis-SC, **Sensor de Umidade e Temperatura AM2302 DHT22.** Disponível em <<https://www.filipeflop.com/produto/sensor-de-umidade-e-temperatura-am2302-dht22/>>. Acesso em 22/08/2017.
14. Filipeflop Componentes Eletrônicos, 2017, Florianópolis-SC, **Sensor de Temperatura DS18B20 a Prova D'água.** Disponível em < <https://www.filipeflop.com/produto/sensor-de-temperatura-ds18b20-a-prova-dagua/>>. Acesso em 22/08/2017.